

PUUSTOTULKINTAKOEALOJEN PAIKANNUKSEN LUOTETTAVUUS

Antti Tuomisto

Opinnäytetyö

Maaliskuu 2011

Metsätalouden koulutusohjelma

Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu

Metsätalouden koulutusohjelma

Tuomisto, Antti: Puustotulkintakoealojen paikannuksen luotettavuus

Opinnäytetyö 42 s.

Maaliskuu 2011

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää puustotulkinta koealojen GPS paikannuksen luotettavuutta. Puustotulkinta on osa metsäkeskusten uutta metsävaratiedon keruumenetelmää. Tavoitteena oli tutkia vertailuaineiston avulla alkuperäisen- ja uudelleenpaikannuksen eroa. Vertailuaineisto kerättiin paikantamalla uudelleen satunnaisesti valittuja koealoja. Lisäksi tavoitteena oli selvittää vertailun perusteella seuraaviksi maastokausiksi paikannustunnuksille raja-arvot, joiden perusteella koealojen luotettavuutta voidaan arvioida.

Uudelleenpaikannuksen tuloksena paikannustarkkuutta kuvaavat tunnuksat saatiin kauttaaltaan paremmalle tasolle. Lisäksi havaittiin odotetun kaltainen tulos puuston vaikutuksesta paikannustarkkuuteen, kun todettiin paikannustarkkuuden heikentyvän puuston kasvaessa ja peitteisyyden lisääntyessä. Tutkimuksen tavoitteena olevien raja-arvojen laskemiselle saatiin kaava, jonka perusteella hyväksyttävän sijainninmuutoksen ja sijaintipisteiden keskihajonnan välistä suhdetta on mahdollista vertailla.

Paikannustarkkuutta kuvaavien tunnusten merkittävä tarkentuminen aiheutui todennäköisesti osittain mittausajankohdan vaihtumisesta kesästä syksyyn jolloin lehtipuiden peitteisyys oli vähentynyt merkittävästi. Tarkkuuden raja-arvojen asettaminen on tasapainottelua vaaditun paikannustarkkuuden ja paikannuksen sujuvuuden välillä. Maastotyön tehokkuuden kannalta on tärkeää, että koealan paikannus onnistuu viivytyksettä puustonmittauksen yhteydessä.

Avainsanat: Laserkeilaus, GPS, paikannustarkkuus, metsävaratieto.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Forestry

Tuomisto, Antti: The reliability of the location on remote sensing experimental plots

Bachelor's thesis 42 pages

March 2011

The purpose of this research was to find out the reliability of the location on the remote sensing experimental plots. The purpose was to solve the differences between the first and the second location. Comparison material was collected by relocating randomly selected experimental plots. In addition the objective was to create limiting values for the indicators of exactitude of location. With these limiting values it would be possible to estimate the reliability of the location.

The results of relocation were good. All the indicators of exactitude of location became more precise. It was also discovered that the tree stand of the experimental plot prejudiced the accuracy of location. The larger the trees on experimental plot were the more inaccurate the location was.

The main reason for improvement in the accuracy of location was probably the different locating season. The first location was done during the summer when deciduous trees still had all the leaves on. The second location on the other hand was made during autumn when the leaves of the deciduous trees had fallen.

It is important for the efficiency of forest work that the location of the experimental plots succeeds fluently during the measuring of the trees. Therefore, setting limiting values is balancing between the required accuracy of location and fluency of location.

Key words: Remote sensing, GPS, location accuracy, forest funds.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LASERKEILAUS JA SATELLIITTIPAIKANNUS	8
2.1	Laserkeilauksen teoriaa	8
2.2	Satelliittipaikannuksen teoriaa	8
3	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTON KERÄÄMINEN.....	10
3.1	Paikannustarkkuutta kuvaavat tunnuksset.....	10
3.1.1	Keskihajonnan laskentaperusteet.....	11
3.1.2	Sijainnin tarkkuus	11
3.1.3	PDOP-arvon maksimi.....	12
3.2	Korrelaatio	12
3.3	Otanta	13
3.3.1	Optimaalinen kiintiöinti	14
3.4	Maastotyö	16
4	AINEISTON KUVAUS	18
4.1	Paikannustiedon käsittely Pathfinder Office-ohjelmalla	18
4.2	Puustotunnukset otannan koealoilla	19
4.2.1	Otannan kehitysluokkajakauma	19
4.2.2	Otannan pääpuulajijakauma.....	20
5	TULOKSET	22
5.1	Paikannustarkkuutta kuvaavat tunnuksset.....	22
5.1.1	Sijainnin tarkkuuden muutos uudelleenpaikannuksessa	22
5.1.2	Keskihajonnan muutos uudelleen paikannuksessa	24
5.1.3	PDOP-arvon muutos uudelleenpaikannuksessa	25
5.2	Tarkkuutta kuvaavien tunnusten välinen suhde	27
5.3	Puuston vaikutus paikannustarkkuuteen.....	28
5.3.1	Kehitysluokan vaikutus paikannustarkkuuteen	28

5.3.2	Pääpuulajin vaikutus paikannustarkkuuteen	31
5.3.3	Puustotunnusten vaikutus paikannustarkkuuteen	32
6	TULOSTEN TARKASTELU	35
6.1	Uudelleenpaikannuksen vaikutus tarkkuutta kuvaaviin tunnuksiin	35
6.1.1	Sijainnin tarkkuus	35
6.1.2	Keskihajonta	36
6.1.3	PDOP-arvo	37
6.2	Raja-arvot	38
6.3	Puuston vaikutus paikannustarkkuuteen	40
6.3.1	Kehitysluokka	40
6.3.2	Puulaji	40
	LÄHTEET	42

1 JOHDANTO

Laserkeilauksella tehtävän metsävaratietojen keruun puustotietojen tuottamiseen vertailuaineistona toimivat maastokauden aikana keilausalueella suoritettujen koealamittausten tulokset. Näitä mittaustuloksia käytetään vertailuaineistona kun laserkeilauksen puustotulkinnasta saadaan pikselikohtaisia puustotunnuksia. Koealojen puuston mittaustyöltä vaaditaan hyvää tarkkuutta, koska mitattuja puustotietoja käytetään vertailukohtana kuviokohtaisia puustotietoja määritettäessä. Myös koealan paikannustiedon on oltava tarkkaa, jotta koealan puustotiedot pystytään sijoittamaan mahdollisimman tarkasti oikeaan kohtaan kuvausalueelle ja näin osataan yhdistää oikeat puustotunnukset vastaavaan kohtaan keilausaluetta.

Osalla Lounais-Suomen metsäkeskuksen aluetta suoritettiin kesällä 2010 laserkeilaus. Laserkeilaus toteutettiin yhteistyössä Pirkanmaan metsäkeskuksen kanssa. Keilausalue kattoi alueen Urjalasta Noormarkkuun ja oli kaikkiaan 215 000 hehtaaria metsämaata. Maastokauden aikana mitattiin kaikkiaan noin 1000 koealaa eripuolilta keilausaluetta. Koealoilta mitattiin puustotunnukset ja tallennettiin kasvupaikkatiedot sekä sijainti.

Koealan sijainnin paikannuksessa toimittiin siten, että koealalle suunnistettiin maastotallentimen oman GPS-toiminnon avulla. Lopullinen koealan sijainti etsittiin Trimble GPS-laitteen avulla, jolla myös varsinainen koealan sijaintitieto tallennettiin. Käytännössä tämä tarkoitti vaihtamista maastotallentimen GPS-toiminnosta Trimble GPS:n kun maastotallennin ilmoitti koealan olevan noin 5 metrin säteellä. Tämän jälkeen lopullinen mittauspiste paikannettiin siten, että koealan keskipistettä etsittiin kunnes Trimble ilmoitti koealan sijaitsevan alle metrin päässä. Normaaliolosuhteissa tämän tarkempaa sijaintia ei löytynyt.

Alkuperäisen mittauksen koealojen paikannustietoja tarkasteltaessa havaittiin, että osa koealoista (kaikkiaan 23 kpl) ei saavuttanut paikannustarkkuuden osalta riittävän hyvää tasoa. Tämä havaittiin tarkasteltaessa koealojen paikannustarkkuutta kuvaavia tunnuksia maastomittauksen jälkeen. Koealat jouduttiin

paikantamaan maastossa uudelleen, jotta puustotulkinnan vaatima tarkkuus olisi saavutettu.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia uuteen metsävaratiedon keruuseen liittyvän koealamittauksen paikannuksen luotettavuutta. Tutkimuksella pyrittiin luomaan maastopaikannuksen tarkkuudelle raja-arvot, joiden perusteella koealan paikannustarkkuus joko hylätään tai hyväksytään. Raja-arvot ylittävien koealojen kohdalla uudelleenpaikannustarve määräytyy sen mukaan, onko kyseisten koealojen joukossa puuston rakenteen suhteen puustotulkintaa tarvittavia koealoja. Lisäksi tavoitteena on mahdollisuuksien mukaan selvittää syitä paikannustarkkuuden heikkoudelle ja löytää ratkaisuja tai kehitysehdotuksia tulevien keilausalueiden maastotyöskentelyä varten.

2 LASERKEILAUS JA SATELLIITTIPAIKANNUS

2.1 Laserkeilauksen teoriaa

Kaikkiaan laserkeilauksella tapahtuva metsävaratiedon keruu on kaksivuotinen prosessi, joka alkaa koealojen mittaamisella ja varsinaisen keilausaineiston kuvaamisella sekä tuoreiden ilmakuvienv ottamisella ensimmäisen maastokauden aikana. Mitattavien koealojen määrä riippuu keilattavan alueen pinta-alasta. Suositusten mukaan 50 000 – 100 000 hehtaarin keilausalueelle sijoitetaan noin 500 - 700 mittauskoealaa (Heikkilä, Ärölä, Kilpiäinen 2010, 2). Koealat mitataan maastokauden aikana, jolloin saadaan keilaustuloksille vertailuaineisto.

Mitattujen koealojen, laserkeilausaineiston ja ilmakuvienv avulla koko keilausalueelle lasketaan kuviokohtaiset puustotunnukset. Tämä kuviokohtainen puustotunnusten laskenta suoritetaan maastokausien välisenä aikana. Metsäkeskukset teettävät puustotulkinnan ostopalveluna. Koealamittaus suoritetaan keilausalueen ensimmäisen maastokauden aikana. Lisäksi osalle metsikkökuvioista suoritetaan kohdennettu maastoinventointi, jonka tarkoituksena on saada puustotiedot kuvioilta, joita ei pystytä laserkeilauksella luotettavasti arvioimaan. Käytännössä nämä kuviot ovat aukkoja, taimikoita ja suojus- sekä siemenpuumetsiä. Kaikkiaan kohdennettua maastoinventointia tarvitaan keilausalueesta riippuen n. 20–30 prosentille kuvioista. Kohdennettu maastoinventointi suoritetaan toisena vuotena maastokauden aikana.

2.2 Satelliittipaikannuksen teoriaa

Laserkeilauksen koealat paikannetaan GPS-satelliittipaikantimilla. Satelliittipaikannus perustuu satelliittien ja mittauksessa käytettävän GPS-laitteen väliseen yhteyteen. GPS-paikannuksessa on 24 satelliittia, jotka on sijoitettu kiertoradoille siten, että niistä on jatkuvasti käytettävissä, eli horisontin yläpuolella, 7-12

kappaletta. Paikannuksessa tärkeässä roolissa on ajanmittaus, joka lähetetään paikannussignaalin ohella satelliittien atomikelloista mittauksessa käytettävään GPS-laitteeseen. Koska ajanmittauksen on oltava erittäin tarkkaa ja käytössä olevat atomikellot kalliita on GPS vastaanottimen ajanmittaus korvattu käytännöllä paikannukseen aina vähintään neljää satelliittia. Tällöin atomikellosta lähetettävän ajan ja päätelaitteen ajan välinen erotus, kellovirhe, voidaan merkitä sijaintia laskettaessa tuntemattomaksi.

Paikantamisen perusajatus on mitata radioaaltojen etenemisnopeuden avulla etäisyys riittävän moneen satelliittiin ja näiden etäisyyksien ja tiedossa olevien kiertoratojen perusteella voidaan laskea oma sijainti (Miettinen 2006, 42). Neljä satelliittia on paikannukselle vain minimimäärä. Käytännössä paikannusluotettavuus nousee satelliittien määrän noustessa. Mitä enemmän satelliitteja on käytössä, sitä luotettavampi on paikannustulos. Myös satelliittien keskinäisellä asemalla toisiinsa nähden on merkitystä paikannustarkkuuteen. Mitä laajemmalla alueella satelliitit ovat toisiinsa nähden, sitä tarkempaa sijaintitietoa on mahdollista saada.

GPS paikannustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat paikannettavan pisteen sijainti, paikannuspisteen ympäristön peitteisyys, mittauslaitteiston laatu (paikantimen aiheuttamat virheet), ilmakehä, käyttäjän virheet ja käytössä olevien satelliittien lukumäärä ja sijainti (Miettinen 2006, 52).

3 TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTON KERÄÄMINEN

Tutkimuksen aineistona käytettiin kesällä 2010 Lounais-Suomen ja Pirkanmaan metsäkeskusten yhteiseltä keilausalueelta kerättyjä koealamittaustietoja. Vertailun mahdollistamiseksi päädyttiin erillisen vertailuaineiston keräämiseen uudelleen paikantamalla tietty määrä satunnaisesti valittuja koealoja. Sijaintitiedon lisäksi alkuperäisen mittauksen koealoilta oli saatavilla myös koealamittauksessa mitatut puusto- ja kasvupaikkatiedot. Näitä ovat esimerkiksi pääpuulaji, kehitysluokka ja kasvupaikkaluokka. Uudelleenpaikannuksen yhteydessä ei enää toistamiseen mitattu puusto- eikä kasvupaikkatunnuksia.

3.1 Paikannustarkkuutta kuvaavat tunnuksot

Koealan paikannustarkkuutta kuvaavia tunnuksia ovat koealan sijaintipisteiden keskihajonta ja koealan sijainnin tarkkuus. Lisäksi kaikilta koealoilta tallennettiin paikannuksen epävarmuutta kuvaavan PDOP-arvo (Position Dilution of Precision). Jokaiselle koealalle tallennettiin koealamittauksen yhteydessä vähintään 500 GPS-sijaintipistettä. Käytännössä sijaintipisteiden määrä koealaa kohden määräytyi koealan puuston mukaan. Mitä pidempään puustomittaukseen kului aikaa, sitä enemmän koealalta ehdittiin tallentamaan sijaintipisteitä. Paikannustarkkuutta kuvaavat tunnuksot on laskettu näiden sijaintipisteiden perusteella.

Sijainnin tarkkuuden osalta paikannukseen hyväksyttävänä raja-arvona pidettiin kesän 2010 aikana 1,0 metrin lukemaa. Sijaintipisteiden keskihajonnan kohdalla noudatettiin 2,0 metrin raja-arvoa. Käytännössä näiden raja-arvojen käytön tarkoituksena on huolehtia paikannustarkkuuden riittävästä laadusta, jotta puustotulkinnan referenssikoealoja voidaan pitää paikannustiedon suhteen luotettavina.

3.1.1 Keskihajonnan laskentaperusteet

Koealan sijaintitieto ilmoitetaan XY- kordinaatti arvoilla. Koealakohtainen sijaintipisteiden keskihajonta saatiin laskemalla koealalle tallennetuille sijaintipisteille keskihajonta. Tämä koealan paikannustarkkuutta kuvaava keskihajonta laskettiin kaavalla:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} .$$

Tässä kaavassa:

s = keskihajonta

x_i = sijaintipisteen etäisyys koealan keskipisteestä

\bar{x} = sijaintipisteiden etäisyyden keskiarvo

n = sijaintipisteiden lukumäärä (Metsämuuronen 2000, 26).

Tämä koealakohtainen hajonta-arvo kuvastaa koealan sijaintipisteiden etäisyyttä koealan sijaintipisteiden odotusarvoon nähden. Keskihajonnan yksikkö on metri. Käytännössä, jos koealan keskihajonta on esimerkiksi 1,5 metriä, tarkoittaa se koealan keskipisteen ympäröivän ympyrän sädettä, jonka sisäpuolelle sijoittuu 68 % koealan sijaintipisteistä.

3.1.2 Sijainnin tarkkuus

Kolmas koealan paikannustarkkuutta kuvaava tunnus on sijainnin XY-kordinaattiarvojen oikeellisuus. XY-tarkkuudelle ei ole olemassa varsinaisesti julkaistua laskentakaavaa, vaan se on eri paikannustarkkuuteen vaikuttavien tunnusten avulla tehty arvio paikannuksen luotettavuudesta.

Sijainninpaikannukseen käytettävän Trimble-laitteen tarkkuustavoite on asetettu 10 senttimetrin tasolle. Tarkkuuden ollessa 0,1 m tarkoittaa se, että

sijainninpaikannuksessa muuttujana olevat kantoaaltojen alkutuntemattomat on ratkaistu. Alkutuntemattomien ratkaisun tuloksena tarkkuus on aina 0,1 ja tätä voidaan pitää ertittäin luotettavana paikannuksena.

Mikäli XY-tarkkuus saa arvon yli 0,1 m on se arvio GPS-paikannuksen tarkkuudesta hyödyntäen tietoja satelliittigeometriasta, etäisyydestä tukiasemaan ja satelliittien lukumäärästä. Tällöin paikannuksen tarkkuuteen on suhtauduttava varauksella, koska kantoaaltojen alkutuntemattomat ovat jääneet ratkaisematta.

3.1.3 PDOP-arvon maksimi

PDOP (Position Dilution of Precision) –arvo ilmaisee paikannuksen epävarmuutta. Se kertoo mittaushetken satelliittigeometriasta: mitä pienempi PDPO-arvo on sitä todennäköisemmin paikannus onnistuu. Tarkemmin sanottuna PDOP-arvo kuvaa paikannustarkkuuden ja satelliittien keskinäisen aseman välistä suhdetta. Tutkimuksen aineistona olleiden koealojen joukossa PDOP-arvo on tyypillisesti 1 ja 6 välillä. PDOP-arvoja alle neljän pidetään erinomaisina ja neljästä kuuteenkin hyvinä. Hekkoina pidetään PDOP-arvojen noustessa yli kahdeksan (Rouvinen, Varjo & Korhonen 1999, 53). Koealapaikannuksen yhteydessä on mahdollista määrittää PDOP-arvolle hyväksyttävät maksimirajat maastotallennin sovelluksen asetuksista.

3.2 Korrelaatio

Tässä tutkimuksessa muuttujien välistä keskinäistä riippuvuutta on tarkasteltu korrelaation avulla. Korrelaatiolla kuvataan muuttujien välistä suoraviivaista riippuvuutta. On kuitenkin tarpeellista ottaa huomioon, että voimakaskaan korrelaatio kahden muuttajan välillä ei välttämättä tarkoita muuttujien välistä syy-

seuraussuhdetta, vaan yhteys voi muotoutua myös kolmannen muuttujan kautta. Korrelaatiokerroin lasketaan kaavalla:

$$r_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y}$$

Tässä kaavassa:

r_{xy} = korrelaatiokerroin

σ_{xy} = x:n ja y:n välinen kovarianssi

$\sigma_x * \sigma_y$ = x:n hajonta * y:n hajonta (Metsämuuronen, 2000, 43).

Tässä tutkimuksessa korrelaatiokerrointa on käytetty kuvaamaan paikannustarkkuuden riippuvuutta puustotunnuksista. Korrelaatiokerroin saa aina arvon välillä -1:stä nollan kautta +1:een. Tämä tarkoittaa sitä, että -1 kuvaa täydellistä negatiivista riippuvuutta ja +1 täydellistä positiivista riippuvuutta. Korrelaatio on siis sitä voimakkaampi mitä suurempi on korrelaatiokertoimen ero noltaan (Metsämuuronen 2000, 43).

3.3 Otanta

Vertailunaineiston keräämiseksi määritettiin tietty osuus koealoista, jotka uudelleen paikannettaisiin maastossa. Tavoitteena oli saada mitattujen koealojen joukosta mahdollisimman laajasti alkuperäistä koealajoukkoa edustava otanta. Myös erittäin heikkolaatuisen paikannustiedon koealat haluttiin mukaan otokseen. Toisaalta haluttiin myös saada otanta, jonka koealojen mittaaminen maastossa olisi mahdollisimman kustannustehokasta. Tehokkaan maastotyökentelyn saavuttamiseksi päädyttiin koealojen mittaamiseen koealarypäs kerrallaan. Myös alkuperäisessä mittaustyössä koealat mitattiin ryppäittäin. Yksi rypäs sisältää tyypillisesti noin 6-8 koealaa. Ryppään sisäisten koealojen etäisyys toisistaan on noin 200 metriä, kun taas eri ryppäiden välinen etäisyys voi olla useita kilometrejä. Otannan keskipisteeksi sovittiin Huittinen ja mitattavien

koealojen haluttiin sijaitsevan 20 kilometrin säteellä Huittisten ympärillä. Määrätyn 20 km säteelle Huittisista osui kaikkiaan 335 koealaa, joista tähän tutkimukseen valittiin 100 koealan otos.

Otanta suoritettiin osittetulla otannalla. Tämä tarkoittaa alkujoukon jakamista ositteisiin ja tämän jälkeen otannan tekemistä joko tasaotantana tai suhteellisen otantana. Ositettu otannan toteuttamiseen päätettiin käyttää mitattujen koealojen keskihajonta-arvoja. Tämä keskihajonta arvo kuvaa koealalle tallennettujen sijaintipisteiden sijoittumista maastoon koealan todellisen keskipisteen ympärille. Mitattujen koealojen joukossa tämä hajontaluku on tyypillisesti luokkaa 0,1-4,0.

Aineisto jaettiin neljään ositteeseen siten, että osite yksi sisälsi ryppäät joiden koealojen keskihajontojen keskiarvo sijoittui välille 0-1,0, osite kaksi keskiarvot 1,0–2,0, osite kolme keskiarvot 2,0–3,0 ja osite neljä ryppäät joiden keskihajonta keskiarvo oli yli 3,0. Näiden keskiarvojen mukaan ryppäille saatiin tunnusluku, jonka perusteella aineiston jakaminen ositteisiin voitiin suorittaa. Ositteisiinjaon perusteena toimi siis ryppään koealojen keskihajontojen keskiarvo.

3.3.1 Optimaalinen kiintiöinti

Ositetuttu satunnaisotanta antoi vielä keskihajonnan suhteen liian paljon hyvän keskihajonnan omaavia koealoja. Tavoitteena oli saada otanta, joka sisältäisi riittävän määrän myös suuremman keskihajonnan, eli heikomman paikannustarkkuuden käsittäviä, koealoja. Näin ollen päädyttiin hakemaan otantamenetelmää, jonka avulla otosta saataisiin painotettua enemmän suuren keskihajonnan koealoihin. Otoksen painottaminen heikomman paikannustarkkuuden koealoihin on tärkeää, jotta myös sellaiset koealat ovat vertailukelpoisia ja yksittäisen koealan paikannuksen tulos ei nousisi liian voimakkaasti tuloksia muokkaavaksi tekijäksi.

Tähän tarpeeseen vastasi parhaiten ns. optimaalinen kiintiöinti (tunnetaan myös nimellä Neyman-kiintiöinti). Optimaalista kiintiöintiä käytettäessä ositteiden otoskoot vaihtelevat. Otoksot määritettiin ositteiden koon ja ryppäiden koealojen sijaintipisteiden keskihajontojen keskihajontojen mukaan. Otoksen määrittämiseksi käytettiin optimaalisenkiintiöinnin kaavaa, joka on seuraava:

$$n_i = n * \frac{W_i s_i}{\sum_{i=1}^L W_i s_i}$$

Tässä kaavassa:

n_i = Optimaalisen kiintiöinnin antama ryppäiden määrä otannassa

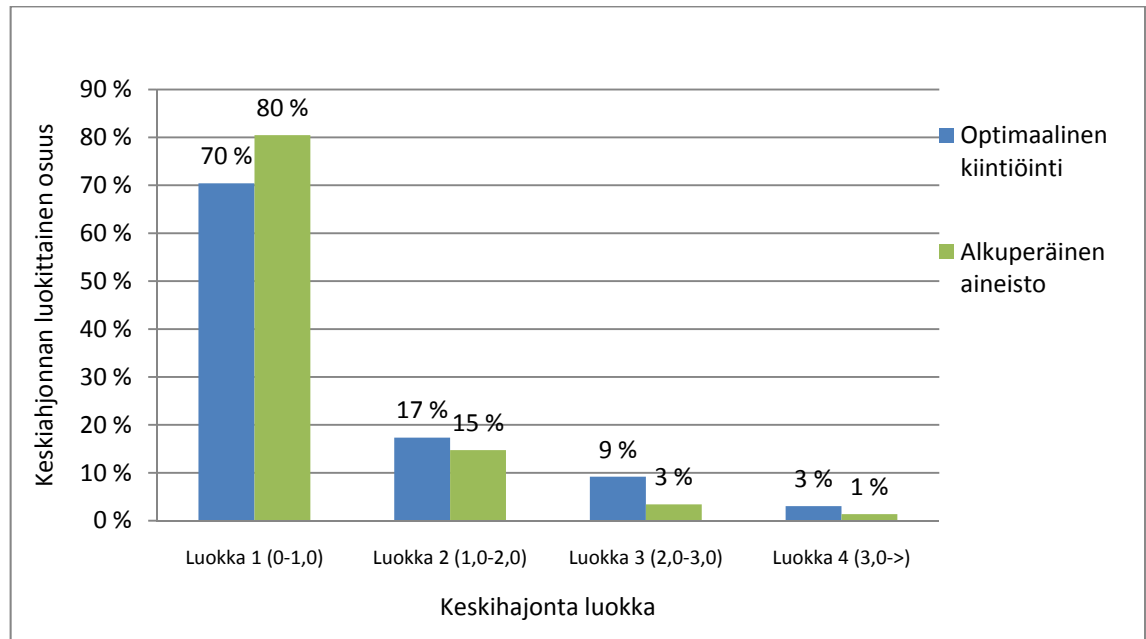
n = Ryppäiden määrä otannassa

W_i = Osuus perusjoukosta

s_i = Ositteen keskihajonta (Mauranen 2008, 16).

Optimaalisen kiintiöinnin avulla Huittisten ympäristössä sijaitsevista 63 koealaryppästä otettiin 18 ryppään ositettu otanta. Tämän otannan avulla lopulliseksi otoskooksi määräytyi 98 koealaa. Tavoiteltua 100 koealan otantaa ei ollut mahdollista täsmälleen määrittää, koska koealojen määrä ryppäiden sisällä vaihtelee.

Optimaalisen kiintiöinnin avulla otantaa saatiin painotettua heikomman keskihajonnan koealoihin siten, että kaikkiaan 29 prosenttia koealoista sijoittui ositteisiin 2-4 (kuvio 1). Alkuperäisessä aineistossa ositteisiin 2-4 sijoittui vain 19 prosenttia koealoista. Optimaalinen kiintiöinti siis tuotti tavoitteen mukaisen otoksen. Kuitenkin laajan alkuperäisaineiston ansioista otosta voitiin pitää satunnaisesti valittuna, koska ainuttakaan koealaa ei suoraan valittu otantaan mukaan.



KUVIO 1. Optimaalisen kiintiöinnin vaikutus otannan koealojen jakautumiseen keskihajontaluokittain

3.4 Maastotyö

Maastotyö suoritettiin paikantamalla otannalla poimitut koealat uudelleen. Koeala paikannettiin pääpiirteissään samoin kuin varsinaisen koealamittauksen yhteydessä. Kuitenkin alkuperäisestä paikannuksesta poiketen koealan keskipiste ja näin uudelleenpaikannuksen lopullinen mittauspiste määräytyi alkuperäisen mittauksen mukaan, jotta paikannustiedot olisivat vertailukelpoisia. Käytännössä tämä tarkoitti sijaintipisteiden tallentamista alkuperäisessä mittauksessa koealalle pystytetyn koealan keskipisteen osoittavan paalun kohdalta. Koeala hylättiin, mikäli koealan keskipistepaalu ei löytynyt tai se oli siirtynyt. Varsinkin viimeisten uudelleenpaikannettujen koealojen kohdalla lumi alkoi jo olla haitaksi matalampien tai kaatuneiden paalujen löytämisessä. Kaikkiaan yhdeksän koealaa jouduttiin hylkäämään, koska paalu ei uudelleenpaikannuksen yhteydessä löytynyt. Tästä johtuen lopullinen vertailuaineisto oli kooltaan kaikkiaan 89 koealaa.

Myös uudelleenpaikannuksessa koealalta tallennettiin vähintään 500 sijaintipistettä jokaista koealaa kohden. Tallennettujen sijaintipisteiden määrää pystytään tarkastelemaan reaaliaikaisesti maastotallentimella koko paikannuksen ajan. Tämä mahdollistaa sijaintipisteiden määrän tarkastelun jo paikannuksen yhteydessä. Puusto- tai kasvupaikkatietoja koealoilta ei uudelleenpaikannuksen yhteydessä tallennettu. Reaalikorjattujen sijaintipisteiden osuuteen sijaintipisteiden kokonaismäärästä ei kiinnitetty erityistä huomiota, vaan noudatettiin samoja ohjeita kuin alkuperäisessä mittauksessa.

Kaikkiaan maastotöihin kului 9 työpäivää, joten keskimäärin koealoja saatiin uudelleen paikannettua n. 10 kappaletta päivää kohden. Tämä vastasi hyvin suunniteltua aikataulua. Koealojen otantaa tehtäessä tavoitteena ollut kustannus- ja työtehokkuus pysyivät kohtalaisen hyvänä, koska siirtymät ryppäiden ja koealojen välillä olivat kohtuulliset. Koealojen sijaitseminen suhteellisen pienellä alueella helpotti ja antoi vapauksia muutoinkin maastotyöskentelyn suunnitteluun.

4 AINEISTON KUVAUS

4.1 Paikannustiedon käsittely Pathfinder Office-ohjelmalla

Tätä tutkimusta varten käytössä ollut aineisto muodostui kesän 2010 alkuperäisen koealamittauksen yhteydessä hankituista koealatiedoista sekä uudelleenpaikannuksella saaduista vertailutiedoista. Aineistona olevilta koealoilta on käytettävissä siis jokaista koealaa kohden kaksinkertaiset paikannustiedot. Lisäksi käytössä on vertailua varten puustotiedot alkuperäisestä mittauksesta.

Sekä alkuperäisessä että uudelleen mittauksessa koealoilta tallennetut sijaintitiedot korjattiin jälkikäteen huonolaatuisia sijaintipisteitä pois suodattavalla ja tukiasematietoa hyödyntävällä Pathfinder Office-ohjelmalla. Pathfinder Office-ohjelmalla tarkennetaan koealan sijaintitietoa differentiaalikorjauksen avulla. Käytännössä tämä tarkoittaa sijainnintallennuksen yhteydessä tallennetun tukiasematiedon hyödyntämistä jälkikorjauksen tekemiseen.

Sijainninpaikannukseen pyrittiin tekemään maastopaikannuksen yhteydessä reaalikorjausta, joka tarkoittaa tukiasematiedon käyttöä jo maastotallennuksen yhteydessä. Tämä reaalikorjauksen saaminen paikannuksen yhteydessä on riippuvainen GPS- ja internet-yhteydestä ja siksi epävarmaa. Tästä johtuen tukiasematiedot tallentuivat VRS-palvelun kautta ja olivat käytettävissä jälkikorjaukseen kaksi kuukautta paikannuspäivän jälkeen.

Reaalikorjauksen epävarmuudesta johtuen kaikkien koelajien kaikki sijaintitiedot syötettiin PFO-ohjelmaan. PFO-ohjelma jälkikarjasi sijaintitiedon, jos jälkikarjauksella saavutettiin maastopaikannusta parempi tarkkuus. Mikäli koealalta saatiin reaalikorjauksen avulla riittävän tarkkaa sijaintitietoa, ei tarvetta jälkikarjaukselle ollut ja maastopaikannuksen mittaustieto jäi voimaan. Saman koealan sijaintipisteiden joukossa voi olla sekä reaalikorjattuja että jälkikarjattuja sijaintipisteitä, koska jokainen sijaintipiste tarkastellaan Pathfinder Office-

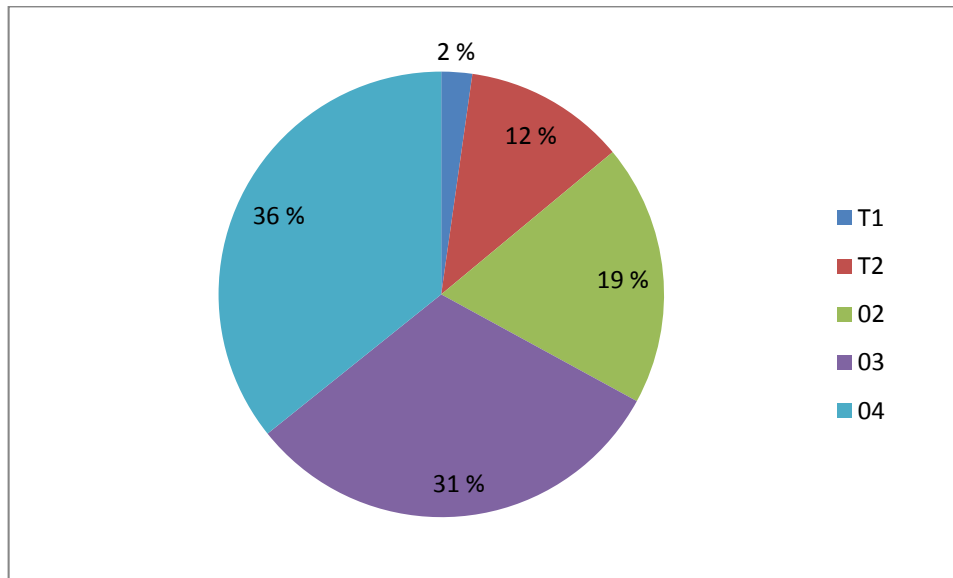
ohjelmassa erikseen. Tämän tutkimuksen aineisto sisältää siis sekä reaali- että jälkikorjattuja sijaintitietoja, riippuen siitä kumpi on laadukkaampaa.

4.2 Puustotunnukset otannan koealoilla

Uudelleenpaikannettavia koealoja otannalla otettaessa ei kiinnitetty huomiota koealojen puustotunnuksiin vaikka koealan puustolla voitiin olettaa olevan merkittävä vaikutus koealan paikannustarkkuuteen. Otantaa selvitettyä oletettiin, että 100 koealan otanta on riittävän suuri, jotta kaikki kehitysluokat ja pääpuulajit saavat satunnaisesti valittunakin riittävän edustuksen.

4.2.1 Otannan kehitysluokajakautuma

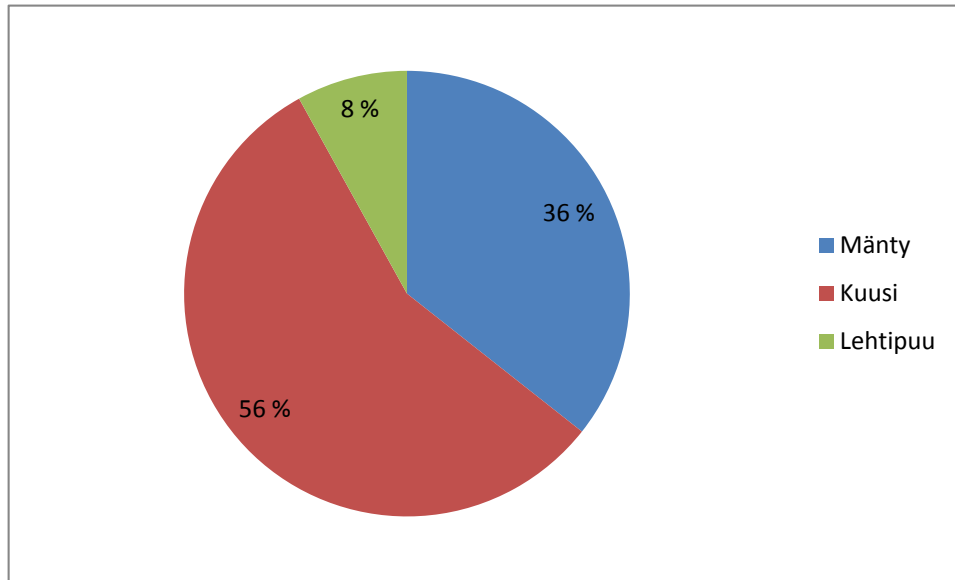
Otannan koealojen kehitysluokat jakautuvat siten, että yli kaksi kolmasosaa niistä sijoittui varttuneisiin kasvatusmetsiin (31%) ja uudistuskypsyihin metsiin (36%) (kuviot 2). Nuoria kasvatusmetsiä on aineistossa viidesosa. Taimikoiden osuus koealojen kokonaismäärästä on noin 13 %. Taimikkokoealoista valtaosa sijaitsee kehitysluokan T2 taimikoissa ja kaikkiaan vain 2 % kaikista otoksen koealoista sijaitsee taimikoissa T1. Viimeksimainittujen taimikoiden vähäinen määrä selittyy sillä, että koealamittauksen yhteydessä mitatut T1 taimikot ovat jälkisijoittelulla aseteltuja. Jälkisijoittelu tarkoittaa tiedossa oleville T1 taimikoille manuaalisesti sijoiteltuja koealoja, jotka eivät olleet alkuperäisessä koealasijoittelussa mukava. Tämän vuoksi T1 taimikot sijaitsevat useimmiten erillään normaaleista koealaryppäistä. Kaikkiaan T1 taimikoita mitattiin todellisuudessa kuitenkin huomattavasti muita kehitysluokkia vähemmän. T1 taimikoita mitattiin muita kehitysluokkia vähemmän, koska nykyinen laserkeilaustekniikka ei anna riittävää tarkkuutta taimikoiden arviointiin.



KUVIO 2. Otannan koealojen jakautuminen kehitysluokittain

4.2.2 Otannan pääpuulajijakauma

Otannan koealat sijoittuivat siten, että yli puolet kaikista koealoista sijaitsee metsiköissä, joiden pääpuulaji on kuusi (kuvio 3). Noin kolmannes koealoista on mäntyvaltaisissa metsissä ja vain alle kymmenesosa lehtipuumetsiköissä. Lehtipuuvaltaisiin metsiin sisältyvät raudus- ja hieskoivikot sekä haapavaltaiset metsät. Lehtipuuvaltaiset metsiköt luettiin kuuluvaksi samaan ryhmään, koska oletettavasti vaikutus paikannustarkkuuteen eri lehtipuilla on samansuuntainen.



KUVIO 3. Otannan koealojen jakautuminen pääpuulajeittain

Otantaan sisältyvillä koealoilla suurimman pääpuulajiosuuden saaneen kuusen osuutta voidaan pitää hieman ylisuurena, kun sitä verrataan Satakunnassa yleisesti vallitseviin puulajisuhteisiin. Koko Satakunnan alueella pääpuulajina on mänty. Puulajisuhteet Satakunnassa jakautuvat siten, että mänty on pääpuulaji 43,9 % osuudella, kuusi toisena (39,8 %) ja lehtipuut kolmantena (16,3 %) (Nummi & Heikkilä 2006, 18). On kuitenkin syytä huomioida, että pääpuulaji ja puulajisuhteet eivät ole täysin sama asia. Lisäksi maakunnan sisällä puusto saattaa vaihdella rakenteeltaan ja puulajisuhteiltaan merkittävästi, joten otannan koealojen pääpuulajisuhteet voivat olla hyvinkin edustavat Huittisten ympäristöön.

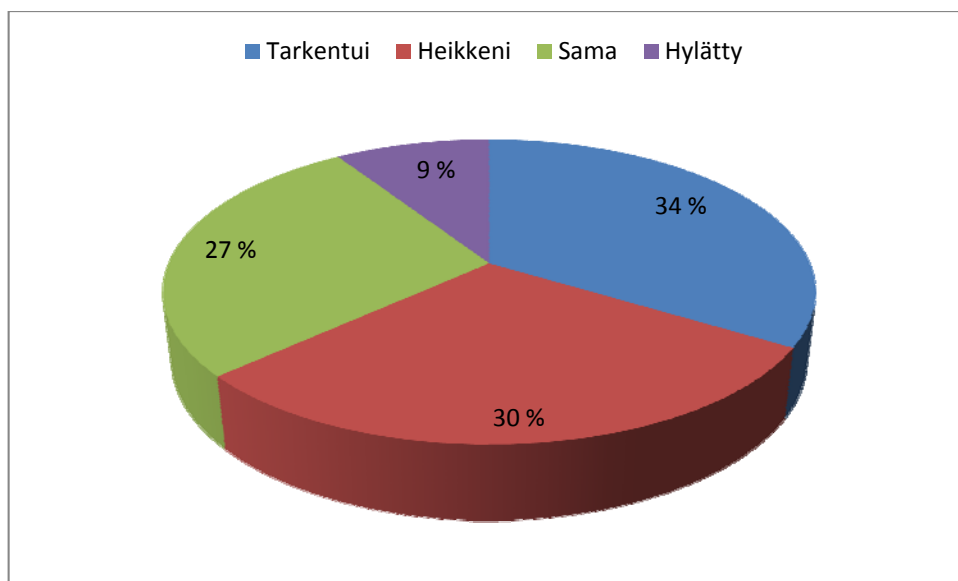
5 TULOKSET

5.1 Paikannustarkkuutta kuvaavat tunnuksat

Koealojen paikannustarkkuutta kuvaavat tunnuksat PDOP-arvon maksimi, sijainnin tarkkuus ja sijaintipisteiden keskihajonta saivat uudelleenpaikannuksen myötä otannan koealoille vertailuarvot. Näiden vertailuarvojen perusteella voidaan tarkastella uudelleenpaikannuksen vaikutusta koealan paikannustarkkuuteen.

5.1.1 Sijainnin tarkkuuden muutos uudelleenpaikannuksessa

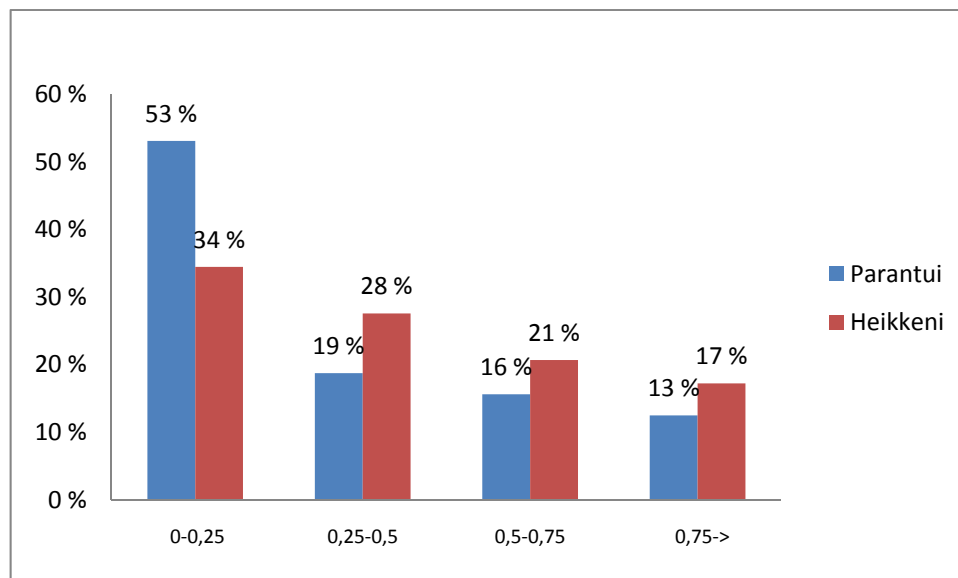
Uudelleenpaikantaminen ei merkittävästi parantanut mittaustuloksia sijainnin tarkkuuden osalta vaan likimain saman verran koealoja sai alkuperäistä paremman (34%) ja heikomman (30%) tarkkuusarvon (kuvio 3). Noin neljännes uudelleenpaikannetuista koealoista sai saman arvon sekä alkuperäisessä mittauksessa että uudelleen mittauksessa.



KUVIO 3. Koealan sijainnin tarkkuutta kuvaavan paikannustarkkuuden muutos uudelleenpaikannuksen yhteydessä

Alkuperäisen mittauksen tuloksia tarkasteltaessa koealojen sijainnin tarkkuudelle asetettiin raja-arvo, jonka perusteella koealan paikannustarkkuutta voitiin arvioida koealakohtaisesti. Kesän 2010 mittauksissa tämä raja-arvo oli 1,0 metriä. Tuon raja-arvon ylittäviä koealoja oli otantaaineistossa mukana kaikkiaan 7 kappaletta (8 prosenttia) mukaan lukien sekä alkuperäisen että uudelleenpaikannusaineiston. Sijainnin tarkkuudeltaan hyvät ja huonot koealat jakautuivat tasaisesti sekä alkuperäisiin että uudelleenpaikannuksiin.

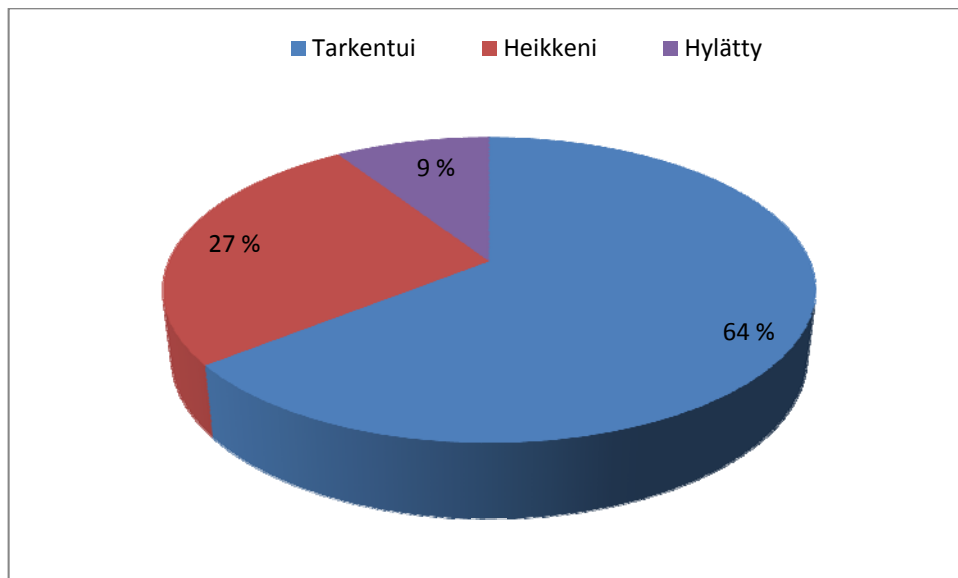
Sijainnin tarkkuuden osalta muutosta alkuperäisen paikannuksen ja uudelleen paikannuksen välillä oli tasaisesti sekä parempaan että huonompaan suuntaan. Tarkkuuden muutos oli pääosin pientä alle 0,5 metrin luokkaa (kuvio 4). Yli 0,75 metrin muutos sijainnin tarkkuudessa tuli 10 prosentille koealoista. Vain kolmella koealalla alkuperäisen ja uudelleenpaikannuksen välinen erotus ylitti käytössä olleen raja-arvon 1,0. Kuitenkin alkuperäisessä aineistossa raja-arvon ylittäneistä seitsemästä koealasta uudelleenpaikannuksen tuloksena saatiin kuusi kappaletta sijoittumaan raja-arvojen sisäpuolelle.



KUVIO 4. Sijainnin tarkkuuden muutoksen suuruus luokittain

5.1.2 Keskihajonnan muutos uudelleen paikannuksessa

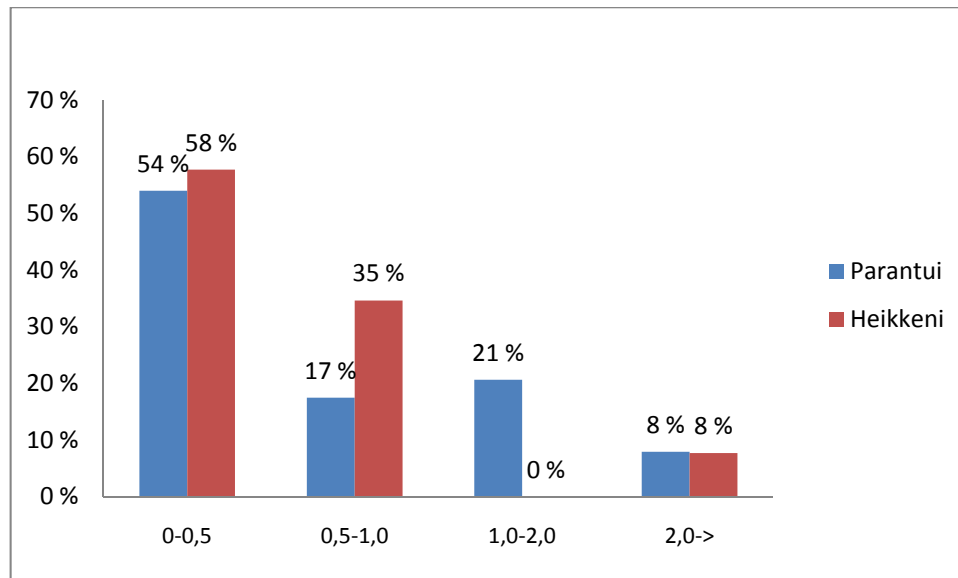
Uudelleenpaikannuksella parannettiin merkittävästi sijaintipisteiden keskihajontaa. Kaikkiaan 64 % koealoista sai uudelleenpaikannuksen yhteydessä alkuperäistä paikannusta paremman keskihajonta-arvon (kuvio 5). Neljännes koealoista sai alkuperäistä mittausta heikomman keskihajonta-arvon. Keskihajonta parani siis huomattavasti suuremmalla osalla koealoja kuin sijainnin tarkkuus.



KUVIO 5. Sijaintipisteiden keskihajonnan muutos alkuperäisen ja uudelleenpaikannuksen välillä

Keskihajonnan raja-arvona käytettiin kesän 2010 koealamittauksissa 2,0 metrin lukemaa. Tämän 2,0 metrin raja-arvon ylittäviä koealoja oli otannassa kaikkiaan 13 kappaletta. Tämä 13 koealan joukko sisältää siis keskihajonnaltaan raja-arvon ylittävät koealat sekä alkuperäisestä että uudelleenpaikannuksesta. Uudelleenpaikannuksella saavutettiin hyviä tuloksia, sillä kaikki alkuperäisessä mittauksessa raja-arvon ylittäneet koealat saivat uudelleenpaikannuksessa niin paljon paremman hajonta-arvon, että tästä joukosta ei raja-arvon ylittäviä koealoja enää löytynyt.

Vaikka keskihajonnan paranemista voidaan pitää merkittävänä, on syytä ottaa huomioon, että valtaosalla koealoista muutos oli kohtalaisen pientä. Kaikkiaan 55 prosentilla koealoista keskihajonnan muutos oli alle 0,5 metriä (kuvio 6). Yli 2,0 metrin muutos mitattiin vain 8 prosentille koealoista. Merkittävintä kuitenkin on, että kaikki alkuperäisessä mittauksessa raja-arvon ylittäneet koealat saivat uudelleenpaikannuksessa merkittävästi paremmat keskihajonta-arvot.

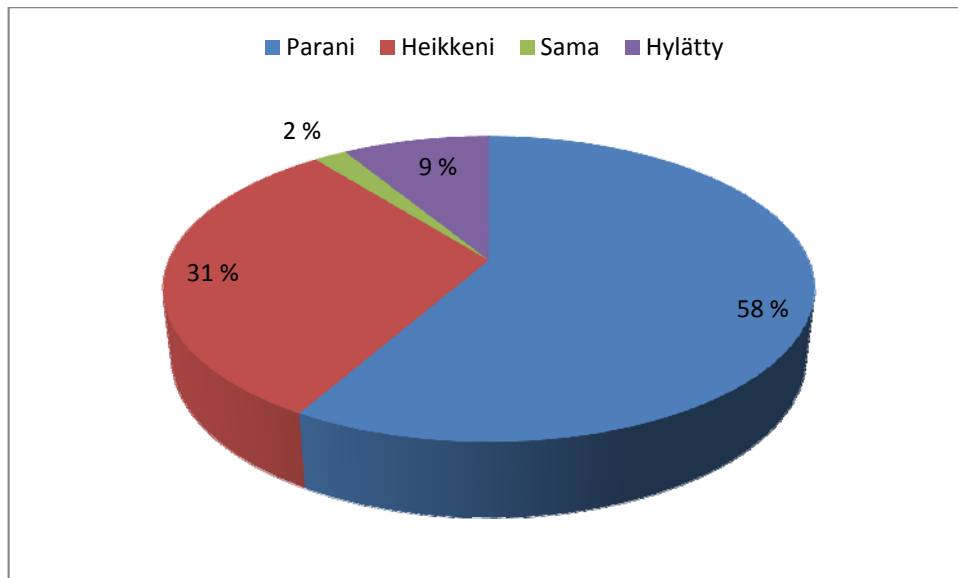


KUVIO 6. Sijaintipisteiden keskihajonnan muutoksen suuruus luokittain uudelleenpaikannuksessa

5.1.3 PDOP-arvon muutos uudelleenpaikannuksessa

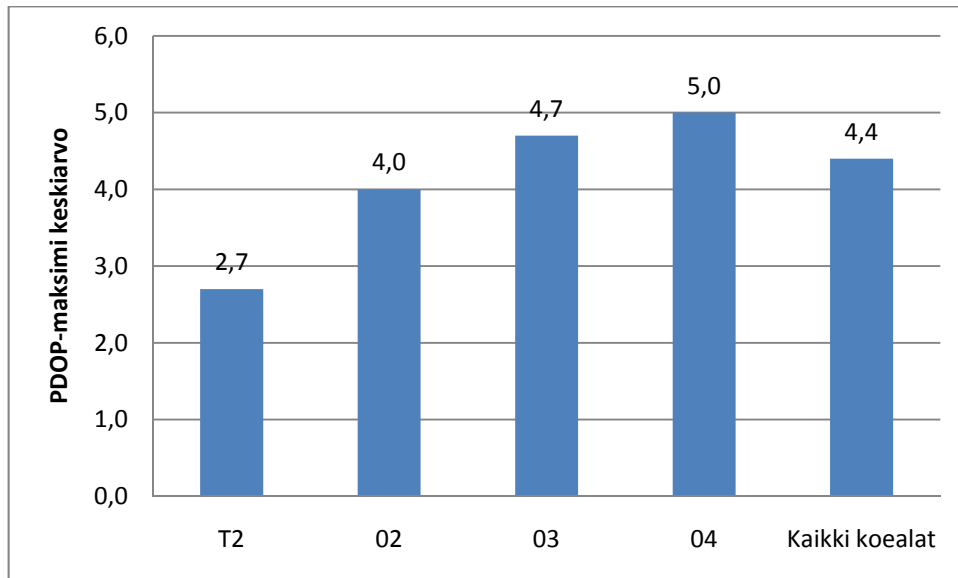
PDOP-arvo parantui uudelleenpaikannuksessa likimäärin samassa suhteessa kuin keskihajontakin (kuvio 7). Koealalta tallennettiin maastopaikannuksen yhteydessä PDOP-arvolle maksimi, jonka muutosta kuvaajassa siis esitetään. Uudelleenpaikannuksessa parannusta ei saavutettu aivan yhtä paljon PDOP-arvon kuin keskihajonnan kohdalla, mutta kuitenkin huomattavasti enemmän kuin sijainnin tarkkuuden yhteydessä. Ainoastaan 2 prosenttia koealoista sai uudelleenpaikannuksessa saman arvon kuin alkuperäisessä mittauksessa, tämä kertoo PDOP-arvon vaihtelevuudesta koealojen välillä. PDOP-arvolla ei

siis esiinny sellaista selkeästi yleisintä arvoa, kuin esimerkiksi sijainnintarkkuuden kohdalla. Tämän vuoksi PDOP-arvo on myös vertailua tehtäessä käyttökelpoisempi paikannustarkkuuden tunnus.



KUVIO 7. Paikannuksen luotettavuutta kuvaavan PDOP-arvon muutos alkuperäisen ja uudelleenpaikanuksen välillä

Merkittävä ero syntyi, kun laskettiin PDOP-arvolle kehitysluokkakohtainen keskiarvo (kuvio 8). Uudistuskypsissä metsissä sijaitsevien koealojen kohdalla PDOP-arvo on keskimäärin 5,0, kun esimerkiksi nuorten kasvatusmetsien kohdalla keskiarvoksi saatiin vain 4,0. Oheisesta kuvaajasta (kuvio 16) nähdään selkeästi miten PDOP-maksimin keskiarvo kasvaa tasaisesti puuston koon ja peitteisyyden lisääntyessä. Tämä on odotetun kaltainen tulos, joka selittyy puuston peitteisyydestä johtuvalla GPS-yhteyden epävarmuuden kasvulla.

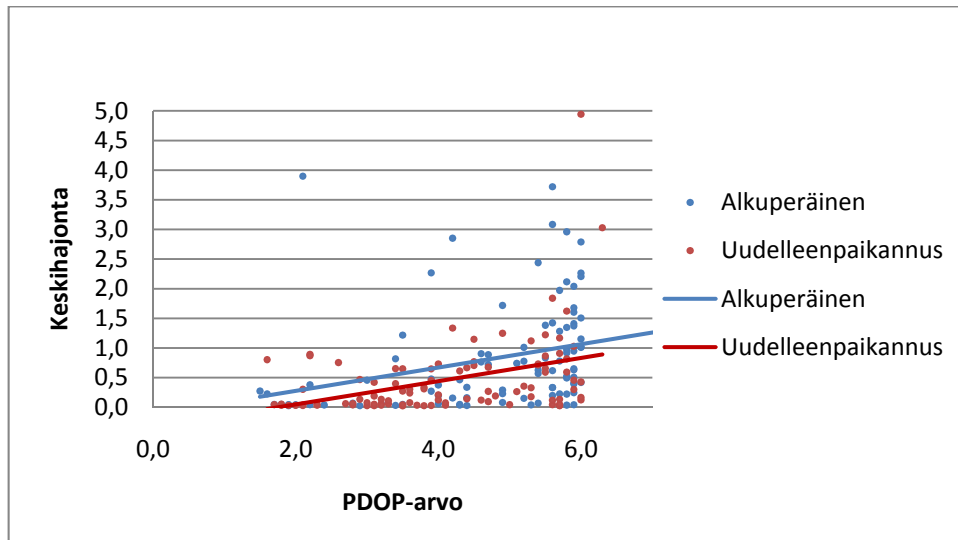


KUVIO 8. PDOP-arvon maksimilukeman keskiarvo kehitysluokittain ja kaikilla koealoilla yhteensä

5.2 Tarkkuutta kuvaavien tunnusten välinen suhde

PDOP-arvon ja sijaintipisteiden keskihajonnan välillä on riippuvuutta. Tämä on havaittavissa kun tarkastellaan keskihajonnan ja PDOP-arvon samassa hajontakuviota (kuvio 9). Siitä nähdään, että PDOP-arvon kasvaessa keskihajontakin kasvaa.

Sijaintipisteiden ja PDOP-arvon välille laskettiin myös korrelaatiokerroin. Tätä korrelaatiokerrointa laskettaessa käytettiin sekä aluperäisen- että uudelleenpaikannuksen paikannustuloksia. Korrelaatiokerroin kuvastaa tässä tapauksessa PDOP-arvon ja keskihajonnan välistä lineaarista riippuvuutta. Tässä tapauksessa sijaintipisteiden keskihajonnan ja PDOP-arvon välinen korrelaatiokerroin sai arvon 0,39. Kun korrelaatiokerroin saa arvon väliltä 0,4-0,6, kuvastaa se melko korkeaa riippuvuutta (Metsämuuronen 2000, 41). Mitä lähempänä korrelaatiokerroin on nollaa, sitä heikompi on muuttujien välinen riippuvuus.



KUVIO 9. PDOP-arvon ja keskihajonnan välinen suhde sekä alkuperäisen että uudelleenpaikannuksen suhteen

5.3 Puuston vaikutus paikannustarkkuuteen

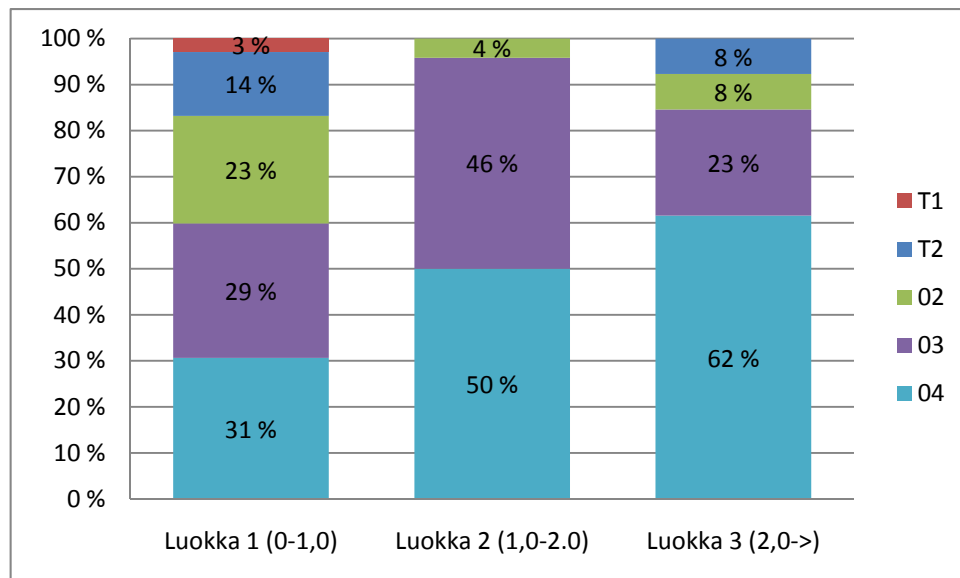
Puuston vaikutusta koealojen paikannustarkkuuteen tutkittiin tässä tutkimuksessa alkuperäisten koealamittauksessa kerättyjen puustotietojen perusteella. Koealakohtaisina puustotietoina käytettiin koealan kehitysluokkaa ja pääpuulajia. Vertailussa käytettiin alkuperäisen mittauksen puusto- ja paikannustietoja sekä paikannustietoa uudelleenpaikannuksesta. Jokaiselle koealalle on siis tässä vertailussa kaksinkertaiset paikannustiedot ja kertaalleen mitatut puustotiedot. Puustotietojen voitiin olettaa säilyneen ennallaan mittausten välillä, joten paikannustietojen käyttöä sekä alkuperäisestä että uudelleen mittauksesta voitiin pitää luotettavana.

5.3.1 Kehitysluokan vaikutus paikannustarkkuuteen

Koelat luokiteltiin vertailun mahdollistamiseksi neljään luokkaan. Jakoperusteena käytettiin koealan sijaintipisteiden keskihajontaa. Koealat luokiteltiin keskihajonnan mukaan seuraavasti: koealan keskihajonta 0-1.0

(luokka 1), keskihajonta 1.0-2.0 (luokka 2) ja keskihajonta yli 2.0 (luokka 3). Koealat jakautuvat luokittain siten, että valtaosa, kaikkiaan 139 koealaa, sijoittuivat luokkaan yksi. Luokkaan kaksi kuului 24 koealaa, luokkaan kolme kahdeksan koealaa ja luokkaan neljä viisi koealaa.

Verrattaessa kehitysluokan vaikutusta koealan keskihajonta-arvoon huomataan, että alhaisen keskihajonnan koealoilla (keskihajonta alle 1.0) kehitysluokittainen jakauma (kuvio 9) noudattelee hyvin tarkasti alkuperäisen aineiston kehitysluokka jakaumaa (kuvio 2). Tämä selittyy osittain sillä, että alhaisen keskihajonnan koealoja oli runsaasti, joka osaltaan tasoittaa jakaumaa. Jakauman tasoittuminen selittyy yksittäisen koealan vaikutuksen pienenemisellä.

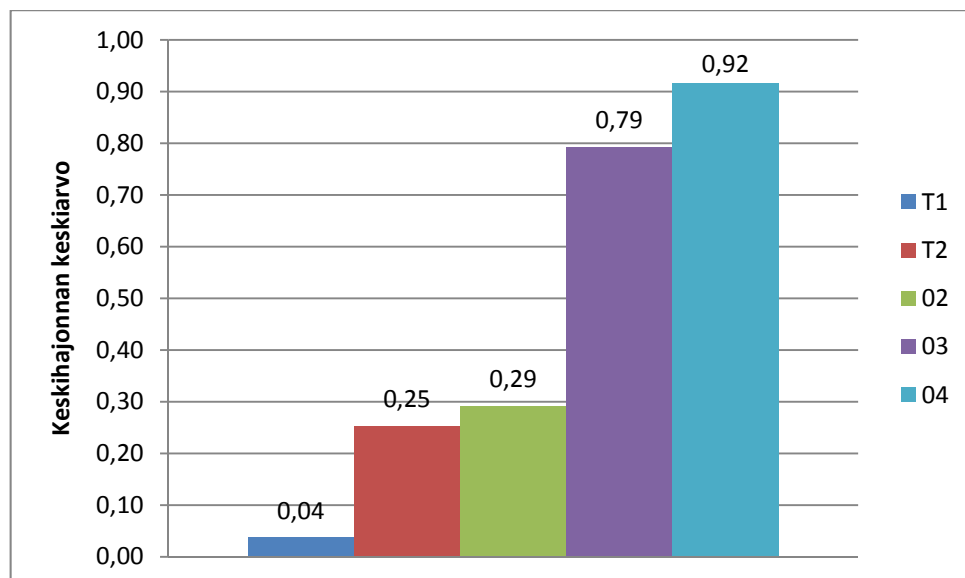


KUVIO 10. Kehitysluokan vaikutus koealan keskihajontaan

Koealan sijaintipisteiden keskihajonnan kasvaessa lisääntyy myös varttuneiden ja uudistuskypsien kehitysluokkien osuus koealojen kokonaismäärästä. Esimerkiksi uudistuskypsien kasvatusmetsien osuus keskihajontaluokkien sisällä kasvaa tasaisesti luokasta yksi (0-1.0) luokkaan kolme (2.0-3.0) siirryttäessä. Luokassa kaksi kehitysluokaltaan uudistuskypsiä koealoja on jo 50 %. Kolmannessa luokassa uudistuskypsien metsien osuus nousee jo 62 prosenttiin.

Puuston koon, pituuden ja järeyden kasvaessa sijaintipisteiden keskihajontakin kasvaa. Tämän nähdään selkeästi, kun koealat listataan kehitysluokittain ja lasketaan kehitysluokakohtaiset hajonnan keskiarvot (kuvio 11). Kehitysluokakohtainen hajonnan keskiarvo kasvaa kehitysluokan edustessa vanhempaa ja suurikokoisempaa puustoa. Huomattavaa on, että varsinkin 03 ja 04 kehitysluokan koealoilla keskihajonnan keskiarvo on merkittävästi suurempi kuin nuorissa kasvatusmetsissä tai taimikoissa. Keskihajonnan keskiarvo yli kaksinkertaistuu siirryttäessä nuorista kasvatusmetsistä varttuneisiin kasvatusmetsiin. Vastaavasti nuorista kasvatusmetsistä uudistuskypsiin metsiin siirryttäessä keskihajonta keskiarvo kolminkertaistuu.

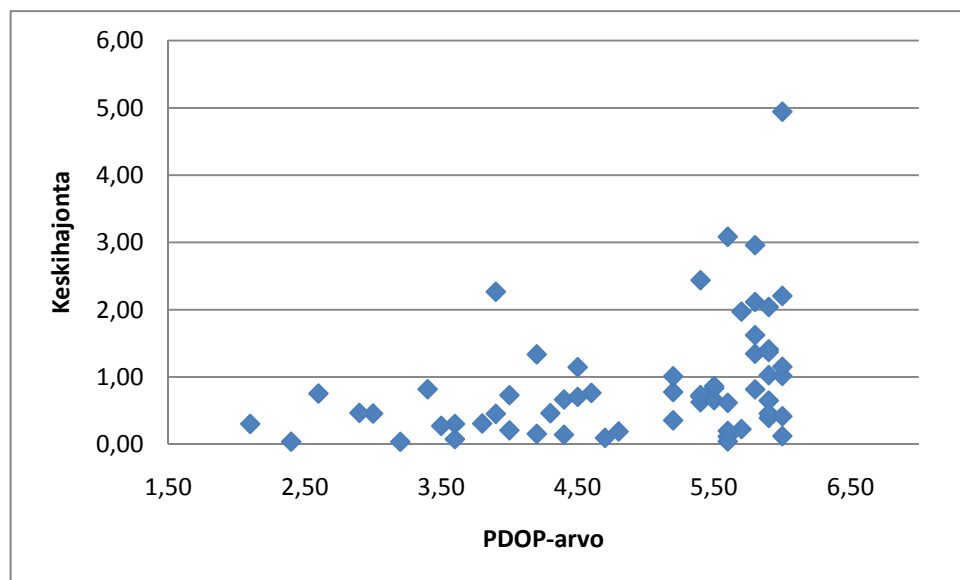
Käytännössä ilman puustoa (puuston keskipituus alle 1.3 m) olevien T1 taimikoiden paikannuksen hyvä onnistuminen nähdään selvästi myös T1 koealojen keskihajontojen keskiarvosta joka on 0,04. Vertailun vuoksi mainittakoon, että T2 taimikoiden vastaava arvo on yli kuusinkertainen (0,25). Sijaintipisteiden keskihajonnan keskiarvon avulla paikannustarkkuutta tarkasteltaessa, pienin eroavaisuus on siirryttäessä kehitysluokasta T2 kehitysluokkaan 02.



KUVIO 11. Koealojen sijaintipisteiden keskihajonnan keskiarvo kehitysluokittain

Keskihajonnan ja PDOP-arvon välinen suhde noudattelee uudistuskypsissä metsiköissä saman suuntaista riippuvuutta kuin tarkasteltaessa aineistoa kokonaisuutena (kuvio 12). Siinä keskihajonnan ja PDOP-arvon riippuvuus saa

korrelaatiokertoimella mitattuna arvon 0,35. Otettaessa huomioon kaikki kehitysluokat korrelaatiokerroin oli 0,39, joten eroa ei voida pitää kovin merkittävänä. Kuitenkin myös uudistuskypsissä metsiköissä keskihajonnan ja PDOP-arvon välillä on havaittavissa riippuvuus, jota voidaan pitää kohtalaisen voimakkaana.



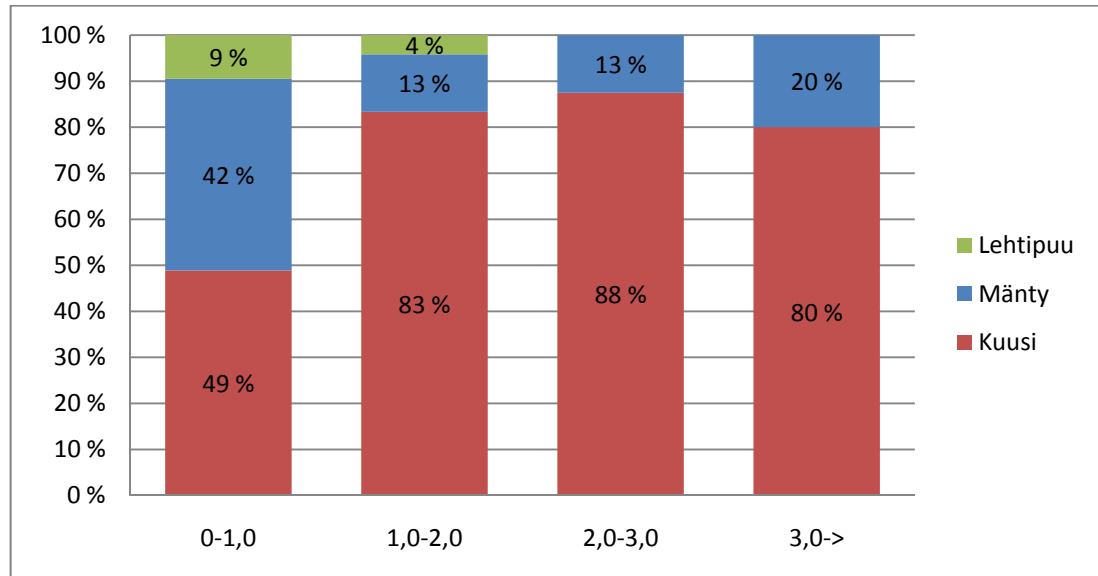
KUVIO 12. Keskihajonnan ja PDOP-arvon suhde uudistuskypsissä metsiköissä

PDOP-arvon keskiarvo uudistuskypsissä metsissä on saanut arvon 5,0, kun se kaikki kehitysluokat huomioon ottaen saanut arvon 4,4. PDOP-arvon keskiarvo laskee lukemaan 4,1, kun tarkastellaan PDOP-arvoa kehitysluokilla T1, T2, O2 ja O3. Eroa uudistuskypsien metsien ja muiden kehitysluokkien välillä voidaan pitää huomattavana, mutta kehitysluokkaa ei voi ainoana paikannustarkkuuteen vaikuttavana tekijänä.

5.3.2 Pääpuulajin vaikutus paikannustarkkuuteen

Sijaintipisteiden keskihajonnan suhteen tarkasteltuna epätarkemmat koealat sijoittuvat pääosin kuusivaltaisiin metsiin (kuvio 13). Koelan keskihajonnan ollessa yli 1,0 on kuusivaltaisten metsien osuus keskihajontaluokasta riippuen 80-88 %, kun se alkuperäisessä aineistossa on hieman yli puolet. Vastaavasti

mänty- ja lehtipuuvaltaisten koealojen osuus pienenee keskihajonnan noustessa. Lehtipuuvaltaiset koealat saivat paikannuksessa yhtä lukuunottamatta keskihajonta-arvon alle 1,0.

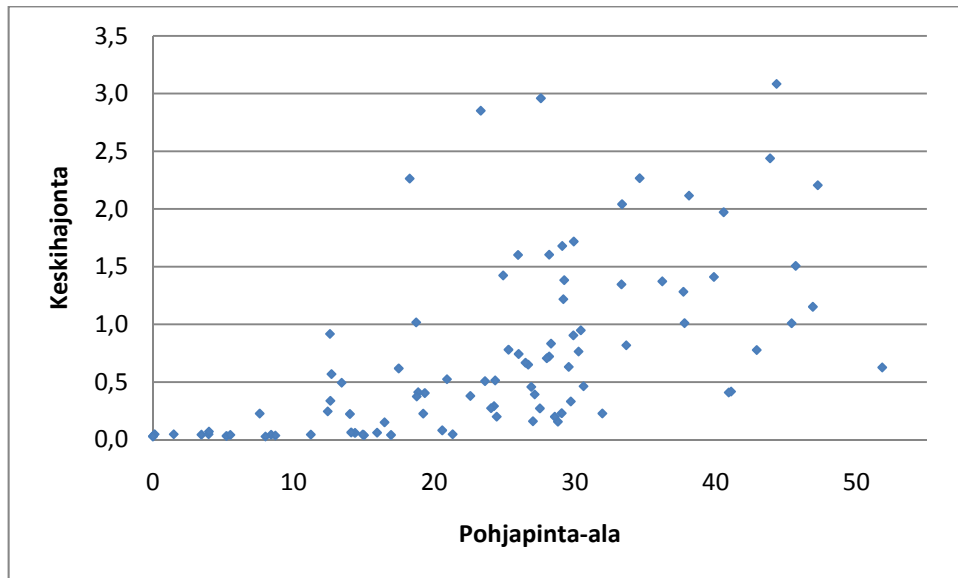


KUVIO 13. Pääpuulajien osuudet keskihajontaluokittain

5.3.3 Puustotunnusten vaikutus paikannustarkkuuteen

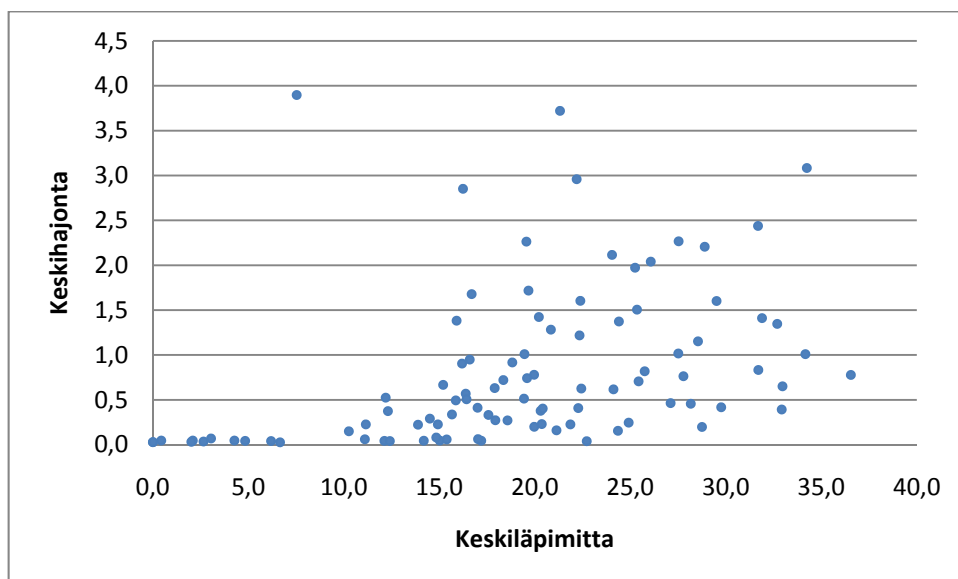
Koealamittauksen tuloksena saatuja puustotunnuksia verrattiin koealakohtaisesti sijainnin tarkkuutta kuvaaviin tunnuksiin. Puustotunnuksista käytössä olivat muun muassa pohjapinta-ala, runkoluku, ikä, keskiläpimitta, keskipituus ja puuston kokonaistilavuus. Puustotunnuksia tarkasteltaessa on selvästi havaittavissa, että puuston keskipituuden kasvaessa myös sijaintipisteiden keskihajonta kasvaa.

Puuston pohjapinta-alan kasvu vaikuttaa heikentävästi paikannuksen keskihajontaan. Varsinkin sijaintitiedon suhteen erittäin heikkojen koealojen (keskihajonta yli 1.0) määrä lisääntyy huomattavasti, kun pohjapinta-ala ylittää 20 m²/ha. (kuvio 14). Tämä kertoo puuston järeyden ja tiheyden heikentävän paikannuksen luotettavuutta. Pohjapinta-alataan alle 20 m²/ha metsiköissä paikannus onnistui pääosin hyvin.

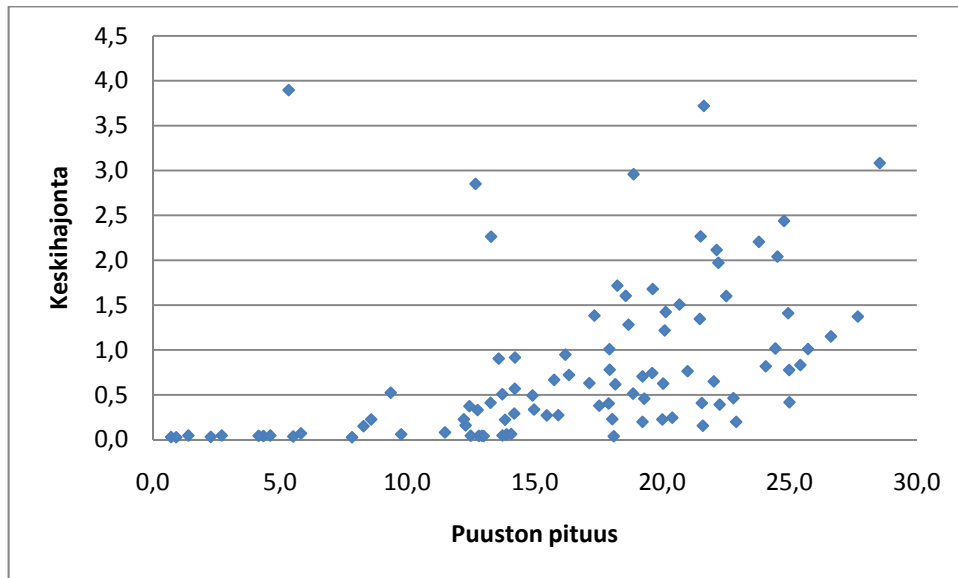


KUVIO 14. Pohjapinta-alan ja keskihajonnan välinen suhde

Keskiläpimitan ja keskipituuden kasvu vaikuttavat paikannustarkkuutteen samalla tavalla (kuvio 15 ja kuvio 16). Tämä oli oletettavissa, koska käytössä on samojen koealojen paikannustarkkuustiedot ja normaaliolosuhteissa järeys ja pituuskasvu kulkevat samassa tahdissa.



KUVIO 15. Puuston keskiläpimitan ja keskihajonnan välinen suhde



KUVIO 16. Puuston pituuden vaikutus keskihajontaan

Huomioitavaa on, että sekä keskiläpimitan että puuston pituuden kohdalla puustotunnuksen oleessa alle kymmenen saa keskihajonta erittäin alhaisen arvon. Keskihajonta alkaa saada heikompia arvoja kun puuston pituus ylittää 10 metrin rajan ja toisaalta kun keskiläpimita ylittää 10 cm rajan. Puuston ollessa alle näiden rajojen paikkannustarkkuutta voidaan pitää erinomaisena.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Uudelleenpaikannuksen vaikutus tarkkuutta kuvaaviin tunnuksiin

Tämän tutkimuksen tekemiseksi uudelleenpaikannettujen koealojen paikannustarkkuutta kuvaavat tunnuksat muuttuivat pääosin tarkkuudeltaan parempaan suuntaan. Paikannustarkkuuden parantumista selittävät parantuneet mittausolosuhteet, joka tarkoittaa lähinnä puuston peitteisyyden lieventymistä lehtien pudottua puista. Seuraavassa on käsitelty paikannustarkkuuden muutosta alkuperäisen ja uudelleen paikannuksen välillä paikannustarkkuutta kuvaava tunnus kerrallaan.

6.1.1 Sijainnin tarkkuus

Uudelleenpaikannus ei lisännyt riittävän sijainnin tarkkuuden saavuttavien koealojen määrää uudelleenpaikannettujen koealojen joukossa. Tarkentuneiden ja tarkkuudeltaan heikentyneiden koealojen määrä koealojen joukossa oli lähes sama. Tätä voidaan pitää luonnollisena, koska paikannus suoritettiin molemmilla kerroilla samalla tavalla. Mittausolosuhteita voidaan pitää pääosin samanlaisina. Tosin myöhään syksyllä ja alkutalvesta tehtyjen uudelleenpaikannusten aikaa puut olivat lehdettömiä, mikä osaltaan vähensi paikannusta häiritsevää peitteisyyttä. Lehtipuuvaltaisten metsien osuus otannasta oli kuitenkin niin pieni, että kovin suurta merkitystä tällä ei todennäköisesti ollut. On kuitenkin muistettava, että lähes jokaisella koealalla on lehtipuita vaikka pääpuulajina olisikin kuusi tai mänty.

Neljännes koealoista sai saman sijainnintarkkuutta kuvaavan arvon sekä alkuperäisessä- että uudelleenpaikannuksessa. Saman tarkkuuden sekä alkuperäisessä- uudelleenpaikannuksessa saaneiden koealojen runsas määrä selittyy sillä, että tarkkuutta ilmaiseva lukema annetaan vain yhden desimaalin

tarkkuudella, jolloin puolet kaikista (sekä alkuperäisen- että uudelleenpaikannuksen) paikannettuista koealoista sai tarkkuudeen 0,1. Tämä hankaloittaa tarkkuuden käyttämistä tulosten arviointiin.

Käytössä olleen raja-arvon ylittäneistä koealoista valtaosa sai uudelleenpaikannuksen yhteydessä arvon, jonka perusteella koealat olisivat olleet puustotulkintaan hyväksyttäviä. Näin ollen epätarkkojen koealojen uudelleenpaikantamista voidaan pitää sijainnin tarkkuuden osalta kannattavana vaikka runsaasti koealoja mitattaessa tarkkuutta ei systemaattisesti kyetäkään parantamaan. Tämä tukee ajatusta tiettyjen varsinaiseen puustotulkintaan mukaan tarvittavien koealojen uudelleenpaikannuksesta.

6.1.2 Keskihajonta

Sijaintipisteiden keskihajonta parani huomattavalla osalla uudelleenpaikannetuista koealoista. Kaikkiaan 64 prosenttia koealoista sai alkuperäistä paikannusta pienemmän keskihajonnan (kuvio 5). Vastaavasti 36 prosenttia koealoista sai alkuperäistäpaikannusta suuremman keskihajonnan, koska keskihajonnan kohdalla saman arvoisia tunnuksia ei syntynyt.

Sijainnin tarkkuuden ja sijaintipisteiden keskihajonnan vertailua tehtäessä on syytä muistaa, että sijainnin tarkkuutta kuvaava arvo ei ole yhtä tarkka kuin keskihajontaa kuvaava arvo. Tästä johtuen suora vertailu sijainnin tarkkuuden ja keskihajonnan mittaustulosten kehityksen välillä on hankalaa. Keskihajontaa ja sijainnin tarkkuutta vertailtaessa on huomioitava, että keskihajonnan kohdalla alkuperäisen mittauksen kanssa saman arvon saavia koealoja ei ole.

Kaikkiaan keskihajonnaltaan parantuneiden koealojen määrää voidaan pitää hyvänä. Tosin on huomioitava, että kaikissa tapauksissa keskihajonnan pieneneminen ei ollut kovinkaan merkittävää. Kaikki 89 uudelleenpaikannettua koealaa huomioon ottaen ainoastaan 20 koealan keskihajonta muuttui enemmän kuin 1,0. Tämä tarkoittaa, että valtaosin keskihajonnan parantuminen oli pientä.

Sijaintipisteiden keskihajonnan paranemista uudelleenpaikannuksessa voidaan selittää syksyllä ja alkutalvesta uudelleenpaikannetuilla koealoilla. Tämä tarkoittaa käytännössä mittausten suorittamista lehtipuiden jo pudotettua lehtensä. Lehtien vaikutus peitteisyyteen on merkittävä, joten vaikutus paikannustarkkuuteen on odotusten mukainen.

6.1.3 PDOP-arvo

Paikannuksen epätarkkuutta kuvaavalle PDOP-arvolle määrättiin koealan paikannuksen yhteydessä maksimiarvo, jonka avulla sijaintipisteitä ei tallenneta määrätyn arvon ylittyessä. Tämä pitää huolen siitä, että tallennettujen sijaintipisteiden laatu pysyy kohtalaisen tasaisena. Koealojen paikannustulokset ovat paremmin vertailukelpoisia toisiinsa nähden, kun tallennuksen laadulle on määrätty tietty vaatimus jo maastotallennuksen yhteydessä.

PDOP-arvon ja keskihajonnan välistä suhdetta tarkasteltaessa havaittiin odotetun kaltainen riippuvuus, jonka mukaan koealan maksimi PDOP-arvon kasvaessa myös sijaintipisteiden keskihajonta kasvaa. Riippuvuuden voimakkuuden arvioimiseksi laskettiin PDOP-arvon ja keskihajonnan välille korrelaatiokerroin. Saatu korrelaatiokerroin (0,39) kuvastaa melko korkeaa riippuvuutta.

Kovin voimakasta riippuvuutta näiden muuttujien välille ei ollut odotettavissa, koska PDOP-arvo on muuttujana hieman eriluonteinen kuin sijaintipisteiden keskihajonta. PDOP-arvo ilmoittaa hetkellisen maksimiarvon, kun taas keskihajonnassa on aina mukana kaikki tallennetut sijaintipisteet. Kuitenki pois lukien Pathfinder Office-ohjelman pois suodattamat sijaintipisteet. PDOP-arvo ei siis osoita sijainnin tallennuksen onnistumista kokonaisuutena vaan, ilmoittaa tason jolla tallennus on ollut epävarminta.

PDOP-arvon ja keskihajonnan välistä suhdetta tarkasteltiin myös pelkästään kehitysluokaltaan uudistuskypsissä metsissä. Tässä tapauksessa PDOP-arvon ja keskihajonnan suhde on hyvin samankaltainen kehitysluokasta riippumatta. Korrelaatiokertoimeksi muuttujien välille uudistuskypsissä metsissä saatiin 0,35,

joka itse asiassa kuvastaa aavistukseen heikompaa riippuvuutta kuin kaikkien koealojen yhteinen korrelaatiokerroin 0,39. Ero ei kuitenkaan ole suuri ja molemmat korrelaatiokertoimet kuvastavat samansuuntaista kohtalaista riippuvuutta.

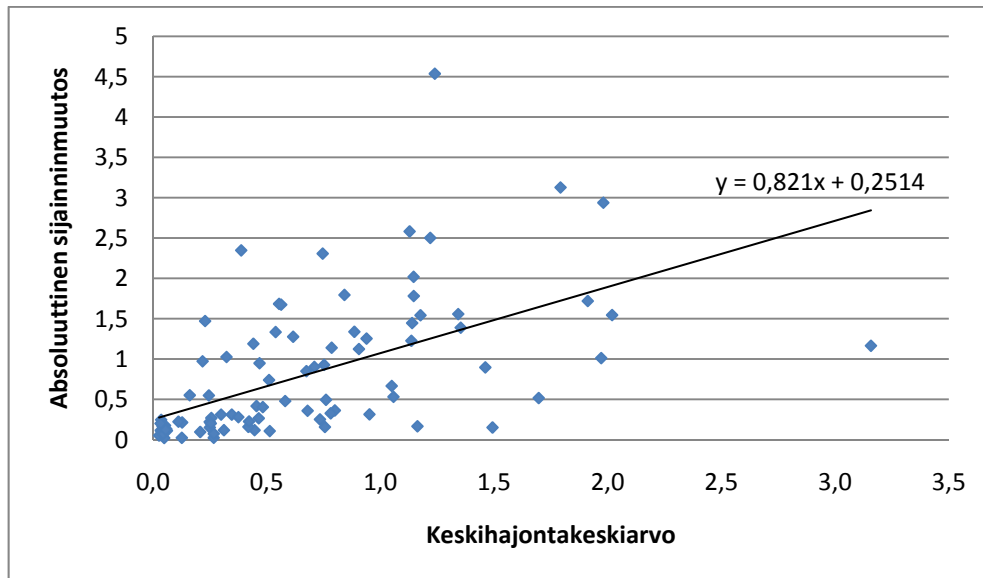
Huomattavaa on, että PDOP-arvojen kehitysluokkakohtaisissa keskiarvoissa suurin erotus on T2 ja 02 kehitysluokan välillä. Tämä on siinä mielessä mielenkiintoista, että muut tarkkuutta kuvaavat tunnuksot ovat kehitysluokittain jaoteltuna erotukseltaan kaikkein lähimpänä toisiaan juuri T2 ja 02 kehitysluokkien välillä. Suurta eroa juuri T2 ja 02 kehitysluokkien välillä selittää se, että T2 koealoilla paikannuksessa käytetty paikannusmasto ylettyy huipultaan puuston latvojen yläpuolelle, kun nuorissa kasvatusmetsissä taas maston huippu jää latvusten alapuolelle. Maston huipulla olevan antennin jääminen latvusten sekaan heikentää GPS-yhteyden laatua ja näin vaikuttaa ainakin hetkellisesti PDOP-arvoon.

PDOP-arvon maksimi on varsinkin maastotyöskentelyn yhteydessä käyttökelpoinen työkalu, koska PDOP-arvo on paikannuksen yhteydessä jatkuvasti reaaliaikaisesti nähtävissä. Maastotyötä tekevien on ainakin teoriassa mahdollista oman harkintansa mukaan tallentaa koealalta enemmän sijaintitietoa, jos PDOP-arvo heittelee merkittävästi paikannuksen aikana. Maastotallennin ei tosin ilmoita PDOP-arvolle maksimilukemaa paikannuksen yhteydessä, vaan käytössä on ainoastaan jatkuvasti päivittyvä arvo.

6.2 Raja-arvot

Yhtenä tavoitteena tälle tutkimukselle oli löytää keskihajonnalle raja-arvo, jonka ylittyessä koeala uudelleenpaikannettaisiin. Tämän raja-arvon määrittämiseksi verrattiin kahden mittauksen absoluuttista sijainninmuutosta koealoille laskettuun sijaintipisteiden keskihajonnan keskiarvoon (kuvio 17). Tuloksena saatiin kuvaaja, jonka perusteella voidaan sanoa, että kahden paikannuksen välisen absoluuttisen sijainninmuutoksen kasvaessa myös keskimääräinen

keskihajonta kasvaa. Tätä tulosta voidaan pitää odotetun kaltaisena. Sijainninmuutoksen ja keskihajonta keskiarvon välinen korrelaatiokerroin sai arvon 0,58, jonka voidaan sanoa kuvaavan merkittävää riippuvuutta muuttujien välillä.



KUVIO 17. Sijaintipisteiden keskihajonnan keskiarvon ja tarkan sijainnin muutoksen välinen suhde

Kuvaajaan piirretyn suoran yhtälöksi saatiin $y=0,821x+0,2514$. Tämä tarkoittaa sitä, että tämän yhtälön ratkaisemalla pystytään määrittämään keskihajonnalle maksimiarvo, kun tiedetään haluttu tarkkuus sijainninmuutokselle. Käytännössä keskihajonnan maksimiksi tulisi asettaa 0,91 metriin, jos kahden mittauksen hyväksyttävän sijainninmuutoksena pidettäisiin esimerkiksi 1,0 metriä. Tämä olisi sama raja-arvo, jota kesällä 2010 käytettiin tarkkuuden maksimiarvona.

Hyväksytty sijainninmuutos (m)	Keskihajonnan maksimi (m)
1,0	0,91
1,5	1,52
2,0	2,13

6.3 Puuston vaikutus paikannustarkkuuteen

Puusto on merkittävä paikannustarkkuuteen vaikuttava yksittäinen tekijä. Puuston pituus ja järeys vaikuttavat GPS-signaalin laatuun ja näin ollen lisää paikannukseen liittyviä epävarmuustekijöitä. Mittaustulosten perusteella voidaan sanoa, että paikannustarkkuus heikkenee ja tulee epävarmemmaksi sitä mukaan, kun puusto kasvaa. Puuston peitteisyys riippuu puuston pituudesta ja järeydestä, pääpuulajista ja puulajisuhteista, mittausajankohdasta (onko lehtipuissa lehdet) sekä siitä onko puusto märkää vai ei.

6.3.1 Kehitysluokka

Kehitysluokkakohtainen koealojen tarkastelu osoitti, että puuston paikannustarkkuus heikkeni tasaisesti siirryttäessä kehitysluokissa suurikokoisempiin metsiin. Varsinkin uudistuskypsien metsiköiden osuus kasvoi merkittävästi kun tarkasteltiin koealoja sijaintipisteiden keskihajonnan ollessa yli 1,0. Varttuneiden kasvatusmetsien kohdalla havaittiin samansuuntaista kehitystä.

Vastaavasti taimikoiden ja nuorten kasvatusmetsien paikantaminen onnistui sijaintipisteiden keskihajonnalla mitattuna paremmin. Tätä selittää käytössä olleen antenni maston pituus, jonka avulla kaikki T1 ja T2 koealoille sekä osin myös 02 koealoille saatiin GPS-signaali latvustasojen yläpuolelta. Tämä käytännössä poistaa puuston peitteisyyden aiheuttaman virheen paikannustarkkuudessa ja antaa samalla vertailukohtaa puuston vaikutuksesta paikannustarkkuuteen.

6.3.2 Puulaji

Puulaji vaikuttaa paikannustarkkuuteen. Tämä havaittiin vertaamalla koealojen keskihajontoja pääpuulajeihin. Kuusikoiden osuus keskihajonnaltaan heikompien koealojen joukossa oli merkittävästi suurempi kuin alkuperäisessä aineistossa. Tämä selittyy kuusikoiden muita puulajeja voimakkaammalla peitteisyydellä. Varsinkin harventamattomat kuusikot, joita myös esiintyy varsin runsaasti, ovat haasteellisia paikannettavia.

Lehtipuuvaltaisten koealojen määrä otannassa oli 7 koealaa. Tämä osuus otannassa on liian pieni suorien johtopäätösten tekemiseen, mutta otannassa mukana olleiden koealojen osalta voidaan todeta lehtipuuvaltaisten koealojen paikannuksen onnistuneen paremmin kuin havupuuvaltaisten metsiköiden. Lehtipuuvaltaisten koealojen hyvä paikannustarkkuus saattaa johtua puulajikohtaisen peitteisyyden vaihtelun lisäksi siitä, että lehtipuuvaltaiset metsiköt ovat usein harvempia kuin havupuuvaltaiset metsiköt.

Huomionarvoista on, että puusto on kuitenkin tässä yhteydessä ikään kuin pakollinen paha. Puustoon ei siis pystytä vaikuttamaan, joten ennemmin olisi tarpeen miettiä pitäisikö eri kehitysluokilla käyttää erilaisia ohjeistuksia paikannuksen suhteen. Esimerkiksi tallennettujen sijaintipisteiden määrän merkittävä lisääminen tai PDOP-maksimin asettaminen alhaisemmalle tasolle vartuneissa kasvatusmetsissä ja uudistuskypsissä metsissä saattaisi parantaa paikannuksen tarkkuutta. Tosin esimerkiksi PDOP-maksimirajan alentaminen todennäköisesti johtaisi siihen, että paikannuksesta tulisi maastotyön yhteydessä entistäkin työläämpi johtuen sijainnin tallennuksen pätkimisen todennäköisestä lisääntymisestä.

LÄHTEET

Heikkilä, J., Ärölä, E. & Kilpiäinen, S. 2010. Kaukokartoitusperusteisen metsien inventoinnin koealojen maastotyöopas (versio 0,8).

Mauranen K. 2008, Kuopion yliopisto. Tilastotieteenjohdantokurssi. Luettu 30.3.2011. www.uku.fi/~mauranen/tpt/til1.doc

Metsämuuronen, J. 2000. Tilastollisen kuvauksen perusteet. Helsinki:International Methelp Ky

Miettinen, S. 2006. GPS käsikirja. Porvoo: WS Bookwell Oy

Nummi, T. & Heikkilä H. 2006. Lounais-Suomen metsäohjelma 2006–2010. Kaarina: Tasapaino Oy. Luettu 30.3.2011.
http://www.metsakeskus.fi/web/fin/metsakeskukset/Lounais-Suomi/alueellinen_metsaohjelma/etusivu.htm

Rouvinen, S., Varjo, J. & Korhonen, K.T. 1999. GPS-paikannuksen tarkkuus metsässä. Metsätieteen aikakauskirja 1/1999: 51–63. Luettu 30.3.2011.
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff99/ff991051.pdf>